

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Неразрушающего контроля  
Направление подготовки Приборостроение  
Кафедра Физические методы и приборы контроля качества

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка и исследование контрольных образцов и тест-панелей из неметалла с открытыми и тупиковыми трещинами капиллярной дефектоскопии</b>

УДК 620.179.111:620.191.33

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Зайцева Анна Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калиниченко Алексей Николаевич	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Физические методы и приборы контроля качества	Суржиков Анатолий Петрович	д. физ.-мат. наук, профессор		

Томск – 2017 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности.
P2	Адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации.
P3	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей.
P4	Самостоятельно обучаться новым методам исследования, изменять научно и научно-производственные профили своей профессиональной деятельности.
P5	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля.
P6	Профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия.
<b>Универсальные компетенции</b>	
P7	Проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.
P8	Умение разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.
P9	Умение организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов.
P10	Способность проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи.
P11	Способность формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ.



<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Задача: исследовать ранее разработанные контрольные образы; разработать тест-панели; провести исследование тест-панелей; разработать способ инструментальной оценки качества наборов дефектоскопических материалов.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2007</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Профессиональный английский язык	Вебер Юлия Юрьевна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Раздел 1 Капиллярный метод неразрушающего контроля

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калиниченко Алексей Николаевич	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Зайцева Анна Александровна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 29 рис., 16 табл., 14 источников, 3 прил.

Ключевые слова: тест-панель, трещина, неметалл, контрольный образец, классы чувствительности, дефектоскопические материалы, сравнение качества, капиллярный контроль.

Объектом исследования являются контрольные образцы и тест-панели из неметалла

Цель работы – разработать тест-панели из неметалла; исследовать контрольные образцы и тест-панели для капиллярного контроля из неметалла; предложить инструментальный способ оценки качества наборов дефектоскопических материалов.

В процессе исследования проводились работы по изготовлению тест-панелей из неметалла по одному классу и трем классам чувствительности.

В результате исследования разработаны два варианта тест-панелей; способ инструментальной оценки качества наборов дефектоскопических материалов.

Степень внедрения: применение в ходе выполнений лабораторных работ студентами и магистрами направления «Приборостроение», «Управление качеством».

Область применения: практическое обучение специалистов, изучающих капиллярный контроль; экспресс-анализ качества чувствительности дефектоскопических материалов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в изготовлении конкурентоспособной разработки, которая обладает более высокими коммерческими ценностями по сравнению с зарубежными вариантами.

В будущем планируется изучить: способы определения глубины трещин в тест-панелях и контрольных образцах.

## **Определения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**капиллярный контроль:** Метод неразрушающего контроля, основанный на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом.

**дефектоскопические материалы:** Материалы, применяемые при капиллярном контроле и предназначенные для заполнения дефектов, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и для извлечения пенетранта из трещины.

**контрольный образец:** Пластина со специально подготовленными дефектами в виде трещин определенного раскрытия, глубины, протяженности.

**тест-панель:** Панель для капиллярной дефектоскопии, применение которой позволяет оценивать способность дефектоскопических материалов к обнаружению дефектов или сравнивать дефектоскопические наборы между собой.

**яркость:** характеристика, показывающая насколько сильно излучается световая энергия того или иного цветового тона.

**светлость:** степень близости цвета к белому цвету.

**насыщенность:** степень близости цвета к серому.

## **Обозначения и сокращения**

В данной работе используются следующие обозначения и сокращения:

КНК капиллярный неразрушающий контроль

НТД – нормативно техническая документация;

КО – контрольный образец

ТП – тест-панель;

ЭД – эпоксидно-диановая (смола).

## Оглавление

Введение	15
Обзор литературы	17
1 Капиллярный метод неразрушающего контроля	18
1.1 Основные положения и область применения	18
1.2 Технологический процесс капиллярного контроля	18
1.3 Капиллярные дефектоскопические материалы	21
1.4 Чувствительность капиллярных методов контроля	22
1.5 Контрольные образцы	23
1.6 Обзор существующих методов создания контрольных образцов	24
1.7 Тест-панели для капиллярного контроля	25
1.7.1 Компараторы	26
1.7.2 Мониторы	28
2 Методы изготовления контрольных образцов и тест-панелей из неметалла	31
2.1 Общие сведения	31
2.2 Технология изготовления контрольных образцов	32
2.3 Технологии изготовления тест-панелей из неметалла	33
2.3.1 Технология изготовления тест-панели из неметалла по одному классу чувствительности с трещинами, выходящими на боковые грани	34
2.3.2 Технология изготовления тест-панели из неметалла по трем классам чувствительности с запертыми трещинами	35



3 Исследование контрольных образцов и тест-панелей из неметалла	38
3.1 Общие сведения о температурных испытаниях	38
3.2 Температурные испытания контрольных образцов из неметалла для капиллярной дефектоскопии	39
3.3 Измерение ширины раскрытия трещин изготовленных тест-панелей	41
3.4 Субъективная оценка качества изображений	41
3.4.1 Сравнительная оценка наборов дефектоскопических материалов	42
3.5 Инструментальная оценка качества наборов дефектоскопических материалов	45
3.5.1 Общие сведения о цветовой модели RGB	45
3.5.2 Обработка цифровых изображений	46
3.5.3 Расшифровка полученных результатов	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
4.1. Потенциальные потребители результата исследования	51
4.2. Технология QuaD	51
4. 3. Планирование научно-исследовательских работ	53
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	53
4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	53
4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования	54
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	56
4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ	56

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	57
4.4.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	58
4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	59
4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	60
4.4.6 Накладные расходы	60
4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
5 Социальная ответственность	62
5.1 Производственная безопасность	62
5.1.1 Отклонение показателей микроклимата	62
5.1.2 Превышение уровней шума и вибрации	64
5.1.3 Недостаточная освещенность рабочей среды	65
5.1.4 Вредные вещества	66
5.1.5 Поражение электрическим током	66
5.2 Экологическая безопасность	67
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	68
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
Заключение	71
Список публикаций	72
Список использованных источников	73
Приложение А	75

Приложение Б	77
Приложение В	78
CD-диск	

## **Введение**

Капиллярный метод контроля является универсальным методом неразрушающего контроля. Он широко применяется в приборостроении, машиностроении, авиастроении в других отраслях народного хозяйства.

Контроль изделий производится с помощью дефектоскопических материалов, которые комплектуются в наборы для капиллярной дефектоскопии: очиститель, пенетрант, проявитель.

Для определения чувствительности дефектоскопических наборов используют контрольные образцы. Они представляют собой, как правило, пластинку с единичной тупиковой трещиной с параметрами соответствующего класса чувствительности. Но в ходе проведения контроля возникает проблема в выборе набора дефектоскопических материалов из нескольких имеющихся в наличии. Для решения данной проблемы необходимо сравнить наборы между собой и выбрать тот набор, который соответствует требованиям, предъявляемым к качеству контроля.

За рубежом разработаны так называемые тест-объекты для капиллярного контроля, предназначенные для сравнения чувствительности наборов дефектоскопических материалов. Изготавливают их из металла.

Однако следует отметить такие недостатки подобных тест-панелей, как некоторая непредсказуемость получаемых размеров раскрытий, количество трещин, ограниченный ресурс использования из-за окисления металла и накопления остатков дефектоскопических материалов.

На кафедре ФМПК ТПУ разработана технология изготовления контрольных образцов из неметалла, которая позволяет реализовать также и тест-панели из неметалла. Что позволяет реализовать тест-панели по той же технологии.

Тест-панели из неметалла имеют ряд преимуществ по сравнению с металлическими тест-панелями. В первую очередь, это простота и экономичность в изготовлении. Другим важным преимуществом является то,

что данная тест–панель может выполнять также роль универсального контрольного образца, так как дефекты выполняются с нормированными параметрами (по разным классам чувствительности). Также следует отметить еще одно преимущество: у них значительно больший ресурс (многократность использования) по сравнению с подобными зарубежными образцами из металлов из-за возможности более качественной очистки, ввиду их прозрачности и отсутствия окисных образований.

Целью диссертации является:

- разработка тест-панелей из неметалла;
- исследование контрольных образцов и тест-панелей из неметалла;
- разработка инструментального способа оценки наборов дефектоскопических материалов.

## **Обзор литературы**

Необходимым аспектом исследований капиллярной дефектоскопии является изучение способов изготовления контрольных образцов и тест-панелей.

Особенности проникновение жидкостей в несплошности описаны в работах таких ученых, как В.В. Ключев, В.В. Сухоруков и Ю.А. Глазков.

Особенности видов трещин рассматривались в трудах такого ученого, как П.П. Прохоренко.

Вопросами способов изготовления контрольных образцов для капиллярного контроля посвящены работы: Б.С. Санько, Н.Н. Качанов, А.П. Дегтярев, А.С. Боровиков, Г.Б. Подымаева, К.С. Фурман, И.М. Бакшт, Н.П. Калинин, А.Н. Катаев, А.К. Денель, О.Н. Романив, В.Н. Симиныкович, Я.Н. Гладкий, И.С. Сорокинский, Ю.В. Зима, В.Г. Степанов, В.Е. Литвинов, Е.Г. Козин, П.В. Безпяткин, Л.С. Глаговская, Ю.Н. Козин, Р.А. Ларионов, А.В. Шептухин, В.С. Скорик, Н.П. Калиниченко.

# **1 Капиллярный метод неразрушающего контроля**

## **1.1 Основные положения и область применения**

Капиллярный метод – это метод неразрушающего контроля, основанный на капиллярном проникновении индикаторной жидкости в полость поверхностных и сквозных несплошностей объекта контроля, а также регистрации образующихся индикаторных следов. [1].

Данный метод позволяет контролировать объекты любых форм и размеров, изготовленных из цветных и черных металлов, стекла, керамики, а также других твердых магнитных материалов.

Условием выявления несплошностей является наличие полости, относительно незагрязненной инородными веществами, а также глубина залегания полости должна значительно превышать ширину раскрытия полости.

## **1.2 Технологический процесс капиллярного контроля**

Процесс капиллярного контроля состоит из следующих этапов (рисунок 1):

### **1. Предварительная очистка поверхности объекта контроля:**

Необходимость очистки заключается в освобождении полости несплошности и поверхности контролируемой поверхности от загрязнений (масло, ржавчина, лакокрасочные покрытия, металлизация). Очистка осуществляется водой либо органическим очистителем (рисунок 1).

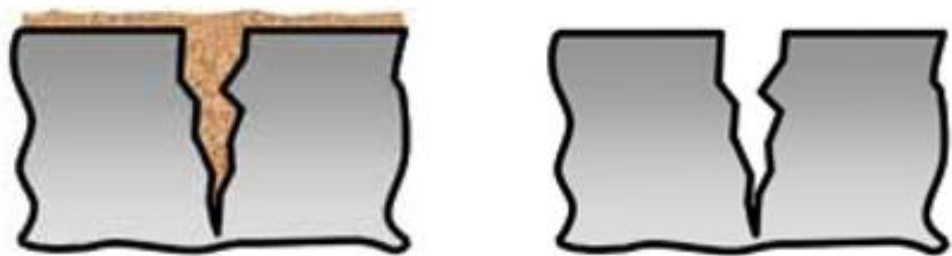


Рисунок 1 – Предварительная очистка поверхности объекта контроля

## 2. Нанесение индикаторной жидкости (пенетранта):

Пенетрант наносится распылением, с помощью кисти или погружением объекта контроля в ванну, наполненной пенетрантом. Данная процедура проходит при температуре воздуха от 5 до 50°C на время от 5 до 30 минут (рисунок 2)

## 3. Удаление излишков пенетранта

Избыток пенетранта удаляется несколькими способами: промыванием водой, протираaniem салфеткой, удалением с помощью очистителя, что и на стадии предварительной очистки. Пенетрант необходимо удалять только с поверхности объекта контроля, соблюдая, чтобы индикаторная жидкость осталась в полости несплошности [рисунок 3].



Рисунок 2 – Нанесение индикаторной жидкости (пенетранта)



Рисунок 3 – Удаление излишков индикаторной жидкости (пенетранта)

## 4. Проявление

Для получения информации о месте расположения дефекта необходимо извлечь индикаторную жидкость из трещины. Для этого поверхность контролируемого объекта покрывается тонким и ровным слоем проявителя (рисунок 4).

Индикаторный след – это след, образованный индикаторной жидкостью в месте расположения несплошности, выходящей на поверхность контролируемого объекта. Обычно ширина следа значительно превышает истинную ширину раскрытия дефекта. Этот эффект позволяет



невооруженным глазом определит место расположения и протяженность дефекта

#### 5. Расшифровка результатов контроля.

Сначала исключают ложные дефекты, затем сведения о выявленных дефектах заносят в журнал с применением условных обозначений обнаруженных дефектов (рисунок 5).



Рисунок 4 – Нанесение проявителя



Рисунок 5 – Проявление индикаторного следа

#### 6. Окончательная очистка.

Проводится, если данная процедура рекомендована НТД. После проведения всех предыдущих этапов объект контроля необходимо очистить от дефектоскопических материалов. Данную процедуру проводят такими способами, как: протирание, промывание, ультразвуковая обработка в воде или органическими растворителями [2].

### 1.3 Капиллярные дефектоскопические материалы

Дефектоскопические материалы применяют при капиллярном неразрушающем контроле и используют для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатка с поверхности объекта контроля с целью получения информации о наличии и расположении несплошности в объекте контроля.

Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к объекту контроля, его состояния и условий

контроля. Материалы комплектуются в наборы, их совместимость в наборах обязательна (рисунок 6). Наборы состоят из:

— индикаторный пенетрант (П) – это проникающая индикаторная жидкость, имеющая в своем составе вещества (цветные, люминесцентные, люминесцентно-цветные), химически активные по отношению к проявителю пенетранта и предназначенная для заполнения полости несплошности с последующим образованием индикаторного следа.

— очиститель от пенетранта (М) – дефектоскопический материал, который используется для удаления избытка пенетранта на поверхности контролируемого объекта ;

— проявитель пенетранта (П) – дефектоскопический материал, который используется для извлечения пенетранта из полости дефекта с целью образования индикаторного следа и фона, облегчающего обнаружения дефекта.



Рисунок 6 – Набор дефектоскопических материалов фирмы «Sherwin»  
(пенетрант, очиститель, проявитель)

#### **1.4 Чувствительность капиллярных методов контроля**

Чувствительность капиллярного неразрушающего контроля – это качество контроля, характеризуемое порогом, классом и дифференциальной

чувствительностью средств контроля в отдельности, либо целесообразным сочетанием [3].

Чувствительность метода капиллярной дефектоскопии условно определяется наименьшими значениями раскрытия, глубины и длины надежно выявляемого дефекта по индикаторному следу.

Порог чувствительности капиллярного метода – это раскрытие несплошности типа единичной трещины определенной длины, выявляемое с заданной вероятностью по заданным оптическому и геометрическому параметрам следа.

Класс чувствительности капиллярного контроля – диапазон значений преимущественного раскрытия несплошности типа единичной трещины определенной глубины. Данный параметр определяется в соответствии с ГОСТ 18442-80 [3] в зависимости от минимального размера выявляемых дефектов с поперечными размерами от 0,1 до 500 мкм (таблица 1).

Таблица 1– Классы чувствительности

<b>Класс чувствительности</b>	<b>Минимальный размер (ширина раскрытия) дефектов, мкм</b>
I	Менее 1
II	От 1 до 10
III	От 10 до 100
IV	От 100 до 500
Технологический	Не нормируют

На чувствительность КНМ оказывает влияние:

- правильность выбора пенетранта;
- смачивающая способность основного компонента;
- качество подготовки поверхности (загрязненность поверхности);
- уровень шероховатости поверхности;
- вид очистителя.

## 1.5 Контрольные образцы

Перед проведением контроля необходимо подготовить дефектоскопические материалы, а также проверить их качество. Подготовка заключается проверки наличия паспорта на дефектоскопические наборы или их отдельные составные части.

Для оценки качества дефектоскопических материалов применяют контрольные образцы (КО) (рисунок 7). Контрольный образец представляет собой пластинку с одиночной, тупиковой трещиной с шириной раскрытия в соответствии с заданным классом чувствительности (таблица 1).



Рисунок 7 – Контрольный образец с индикаторным следом

Для определения качества дефектоскопических материалов используют минимум два образца с трещинами одинакового характера и примерно равных параметров. Первый контрольный образец является рабочим, его применяют постоянно, а второй (арбитражный) применяется при неудовлетворительном выявлении трещин на рабочем образце. Если при обработки арбитражного образца трещины также не выявляются, то дефектоскопические материалы являются непригодными к дальнейшей эксплуатации. Если результат обработки арбитражного образца является удовлетворительным, из этого следует, что рабочий образец некачественно очищен и подлежит очистке либо замене [2].

К любому контрольному образцу прилагается паспорт, в котором указаны средние размеры поверхностных несплошностей, фотография индикаторных следов, а также указание набора дефектоскопических материалов, благодаря которым был получен индикаторный след .

Для проверки качества наборов дефектоскопических материалов образцы с дефектами подвергают капиллярному контролю и индикаторный

след выявленных трещин сравнивают со следом, зафиксированным на фотографии, указанной в паспорте. При анализе следа учитывают полноту выявления трещин, контрастность и яркость рисунка, а также состояние фона образца. При хорошем качестве дефектоскопических материалов отношение суммарной длины выявленных трещин к длине трещин, имеющихся на образце, должно быть не менее 95%.

### **1.6 Обзор существующих методов создания контрольных образцов**

Наибольшее распространение получили стальные азотированные контрольные образцы, которые обладают высокой устойчивостью против коррозии и стабильностью размеров трещин в течение длительного времени. Трещины в образцах получают благодаря термической обработке, деформированию, шлифованию. Подробнее способы получения трещин на контрольных образцах представлено на рисунке 8 [3].

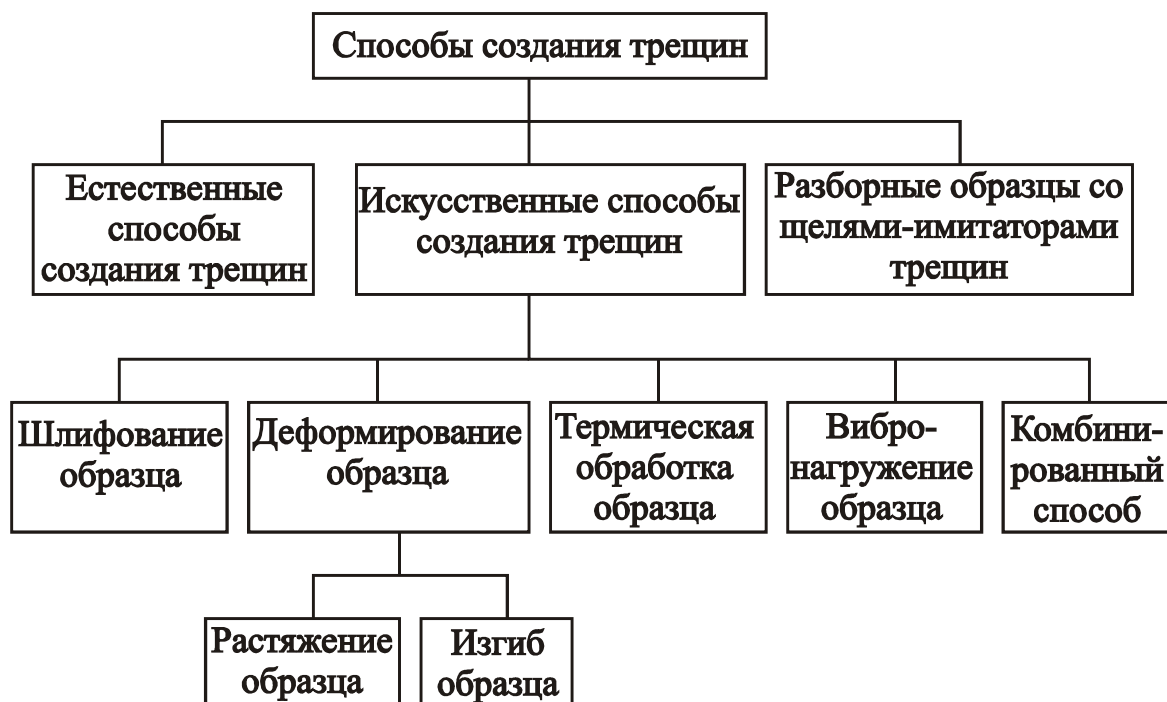


Рисунок 8 – Классификация получения трещин на контрольных образцах

### **1.7 Тест-панели для капиллярного контроля**

Использование контрольных образцов для капиллярного контроля позволяет определить чувствительность дефектоскопических материалов. Но в ходе проведения контроля возникает проблема в выборе набора

дефектоскопических материалов из нескольких имеющихся в наличии. Для решения данной проблемы необходимо сравнить наборы между собой и выбрать тот набор, который соответствует требованиям, предъявляемых к качеству контроля.

В настоящее время на мировом рынке стали появляться тест-панели (ТП) для капиллярного контроля. Применение ТП позволяет провести сравнительный анализ наборов дефектоскопических материалов и выявить, какой набор обладает более высокими качествами.

Тест-панели классифицируются по исполнению и функциональному назначению (рисунок 9).

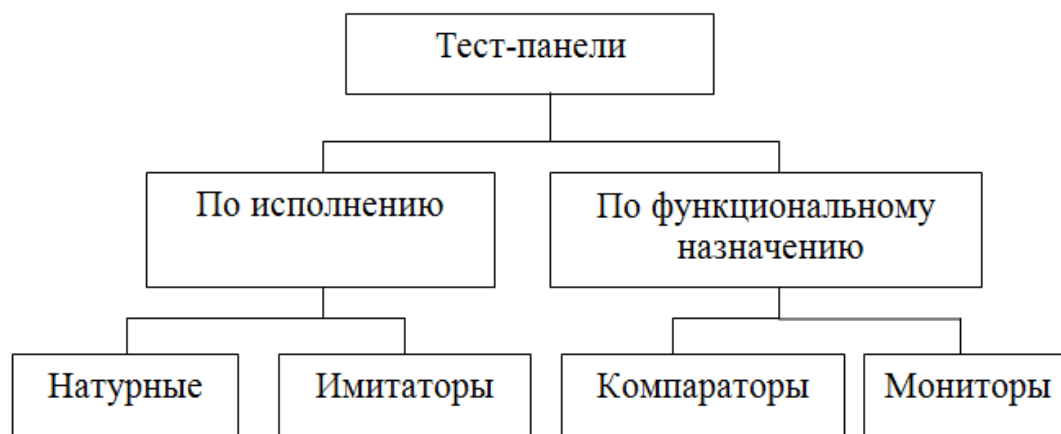


Рисунок 9 – Классификация тест-панелей

Натурные ТП представляют собой объекты с естественными дефектами известных размеров. Трещины получают, подвергая гальванические покрытия термической обработке, шлифованию или деформации. Когда в имитаторах трещину заменяет зазор [4].

Компараторы предназначены для определения чувствительности наборов дефектоскопических материалов в некоторых стандартных условиях.

Мониторы применяют для слежения за качеством и правильностью выполнения всего процесса капиллярной дефектоскопии объектов контроля.

### 1.7.1 Компараторы

Типичными представителями данного класса ТП являются: никель-хромовые панели и алюминиевый тест-блок.

#### 1.7.1.1 Никель-хромовые панели

Никель-хромовые панели по JISX 2343-3 предназначены для определения чувствительности пенетранта (рисунок 7).



Рисунок 10 – Комплект никель-хромовых панелей с эталонной фотографией

Данная панель представляет собой бронзовую пластину, покрытую никель-хромовым покрытием, заданной толщины с трещинами, созданными путем приложения усилия в направлении, перпендикулярном панели.

Основание пластины более пластичное, чем покрытие. Созданные трещины упираются в основание, и поэтому глубина трещин определяется толщиной покрытия.

Выпускается 4 вида панелей, с глубиной трещин 50, 30, 20 и 10 мкм. Раскрыв трещин в среднем 1/20 глубины.

После создания трещин, пластину симметрично разрезают на две части, в направлении, перпендикулярном направлению трещин. Таким образом, получают набор, состоявший из двух пластинок, подобие которых очень велико.

При сравнении индикаторной способности одна пластина обрабатывается испытуемым набором дефектоскопических материалов, вторая – образцовым. После получения индикаторных следов, пластины сводятся внутренними сторонами, и проводится сравнительный анализ индикаторных следов между собой, а также с эталонной фотографией, на которой показаны индикации, полученные при обработке двух половинок образцовым набором.

Данное наблюдение позволяет получить оценку чувствительности наборов дефектоскопических материалов, выявить, соответствует ли испытуемый набор поставленным требованиям [5].

#### **1.7.1.2 Алюминиевый тест-блок по ASMEV**

Тест-блок, как никель-хромовые панели, предназначен для контроля индикаторной способности дефектоскопических материалов. Блок представляет собой дюралюминиевую пластину с сетками трещин и канавкой посередине, которая разделяет блок на две равные части (рисунок 11).

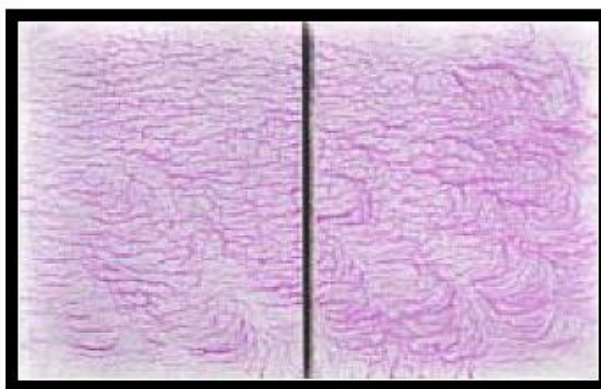


Рисунок 11 – Тест-блок по ASMEV после обработки разными наборами дефектоскопических материалов

Дефекты наносят методом термического растрескивания на обе стороны пластин: на одну сторону – более грубые дефекты с большим раскрытием, на другую – более тонкие трещины с малым раскрытием [4].



Если с помощью экрана разделить блок на две равные части и одну обрабатывать одним набором дефектоскопических материалов, а вторую – другим, то можно сравнить между собой полученные индикаторные следы.

Обычно образец пригоден к использованию 15 – 20 раз, после чего полости трещин засоряются остатками наборов.

### **1.7.2 Мониторы**

Типичными представителями данного класса ТП являются тест-объект PSM-5 и тест-панель Тип 2. Они предназначены для слежения за качеством, правильностью выполнения и определения чувствительности всего процесса капиллярного контроля. Они используются на автоматических линиях контроля и пропускаются через весь процесс так же, как и все изделия [2].

#### **1.7.2.1 Тест-панель PSM-5**

PSM-5 представляет собой панель из нержавеющей стали. Рабочая сторона панели имеет два поля (рисунок 12):

1. Хромированная полоса с пятью звездообразными центрами трещин, полученные ударным вдавливанием шарика с обратной стороны, на равном расстоянии друг от друга;
2. Поле однородной средней шероховатости.



## Рисунок 12 – Тест-панель PSM-5 после обработки дефектоскопическими материалами

Центры трещин располагаются по мере возрастания их диаметров: 6,4 мм, 4,0 мм, 2,4 мм, 1,6 мм и 1 мм. Наибольший диаметр становится видимым при обработке панели низкокачественным пенетрантом, наименьший – высококачественным. Абсолютно идентичных панелей такого вида не существует, рисунок трещин варьируется от панели к панели [5].

Наборы среднего качества в некоторых случаях выявляет все пять дефектов. Это не говорит о том, что система контроля нестабильна, а означает, что данный набор обладает более высокими качествами, чем указал производитель в документации, тем самым производитель дает некоторый запас по чувствительности.

По PSM-5 можно определить, правильно ли работают: станция очистки, пенетрант, эмульгатор, станция промывки и сушки, проявитель, правильно ли выдерживают все временные интервалы [4].

PSM-5 говорит о следующих изменениях рабочих параметров системы:

- состава пенетранта;
- состава эмульгатора;
- неправильная концентрация проявителя;
- неправильное время выдержки проявителя.

Разводы и пятна на поле шероховатости говорит о том, что поверхность была не качественно очищена от избытка и о повышенной вязкости пенетранта.

Панель PSM-5 не может использоваться как тест-объект для определения абсолютной чувствительности.

### 1.7.2.2 Тест-объект Тип 2 по ENISO 3452-3

Данный объект представляет собой прямоугольную никелированную пластину, покрытую дополнительно тонким слоем хрома (рисунок 13).



Рисунок 13 – Тест-объект Тип 2

У данной панели присутствуют четыре поля различной шероховатости, позволяющие более точно судить о смываемости пенетранта. Данные поля имеют следующие параметры шероховатости:  $Ra=2,5$ ; 5; 10; 15 мкм.

Также у ТП Тип 2 имеется 5 дефектов звездообразного типа, типичные диаметры которых соответствуют следующим значениям: 3; 3,5; 4; 4,5; 5,5 мм [6].

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

На данный момент серьезный конкурент научных разработок – это желание или нежелание что-либо менять. Организации, которые являются потенциальными приобретателями результата научного исследования, должны знать, какие материальные результаты они получают от использования разработки. А точнее, сколько они сэкономят или потеряют денег. Именно поэтому необходимо донести до потенциальных потребителей коммерческую ценность разработки.

Целью данного раздела магистерской диссертации является создание конкурентоспособной разработки, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения данной цели, необходимо решить следующие задачи:

- определение потенциальных потребителей;
- определение перспективности разработки;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### **4.1. Потенциальные потребители результата исследования**

Целевым рынком выполненной работы является компании, занимающиеся неразрушающим контролем.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации, имеющие отношение к капиллярной дефектоскопии.

### **4.2. Технология QuaD**

Технологию QuaD применяют для количественной оценки качественных характеристик, в которые входит: конкурентоспособность, эффективность.

Технологию QuaD используют при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость, и повышая точность и достоверность результатов. В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Данные оформляются в виде таблицы (таблица 5).

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес кри- терия	Бал- лы	Мак- си- мал- ьны й балл	Отно- - ситель- ное значе- ние (3/4)	Средне- взвешен- ное значени- е (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Надежность	10%	60	100	0,6	6
2. Унифицированность	10%	70	100	0,7	7
3. Уровень материалоемкости разработки	10%	80	100	0,8	8
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
4. Конкурентоспособность продукта	10%	70	100	0,7	7
5. Перспективность рынка	10%	70	100	0,7	7
6. Цена	40%	100	100	1	40
7. Финансовая эффективность научной разработки	10%	80	100	0,8	8

<b>Итого</b>	<b>100%</b>	<b>530</b>	<b>1000</b>	<b>5,3</b>	<b>83</b>
--------------	-------------	------------	-------------	------------	-----------

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, исследование является перспективным.

### **4. 3. Планирование научно-исследовательских работ**

#### **4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование этапов работ данного исследования включает в себя составления перечня этапов, а также соотношение исполнителя и видов этапов (таблица 6).

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель
	2	Выдача технического задания	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Подбор и изучение требований нормативных документов	
	5	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	6	Календарное планирование	Руководитель, студент
Теоретические исследования	7	Изучение литературы по теме	Студент
	8	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
Изготовление испытательного образца	9	Разработка опытного образца	Студент
	10	Исследование опытного образца	Студент

Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Вывод по цели	
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Студент

#### 4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты являются основной частью стоимости разработки, следовательно, важным моментом является определение трудоемкости работ всех участников, принимающих участие в выполнении исследований.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн..

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, который несет информацию о том, в какие временные промежутки выполнялась та или другая работа, а также дата начала и окончания данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному и налоговому календарю на 2015 год, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных 104 дней, а количество предпраздничных дней – 14, таким образом:  $k_{кал}=1,48$ . Рассчитанные значения представлены в таблице 7.



Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
Составление и утверждение темы проекта	1	2	1.4	Рук.	1,4	2
Выдача технического задания	3	5	3.8	Рук.	3,8	6
Поиск и изучение материала по теме	7	14	9.8	Студ.	9,8	15
Подбор и изучение требований нормативных документов	7	14	9.8	Студ.	9,8	15
Выбор направления исследований	3	10	5.8	Рук., Студ.	2,9	4
Календарное планирование	2	4	2.8	Рук., Студ.	1,4	2
Изучение литературы по теме	7	14	9.8	Студ.	9,8	15
Исследование контрольных образцов из неметалла	3	5	3.8	Студ.	3,8	6
Разработка тест-панели из неметалла	3	10	5.8	Студ.	5,8	15
Исследование тест-панелей из неметалла	2	4	2.8	Студ.	2,8	10

Продолжение таблицы 7

Оценка эффективности полученных результатов	2	5	3.2	Студ.	1,6	6
Составление пояснительной записки	3	10	5.8	Студ.	5,8	15

Из диаграммы Ганта (приложение Б) видно, что работа началась в первой декаде февраля и закончилась в последней декаде мая. Также видно, что некоторые из работ выполнялись параллельно.

#### 4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

##### 4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется в соответствии с формулой:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (5)$$

Где, m— количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ — количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$ — цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$ — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы в пределах 15-25%).

Расчеты, произведенные в данном разделе, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Эпоксидная смола	кг	0,5	450	258,75
Отвердитель	кг	0,25	600	172,5
Фольга	рулон	1	29	33,25
Тетрадь	шт	1	54	50,6
Шариковая ручка	шт.	1	40	34,5
Бумага	лист	150	2	342
Картридж для принтера	шт.	1	1200	1350
Интернет	М/бит (пакет)	1	350	40,25
Итого				2081,85

#### 4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Данная статья описывает все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме исследования.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Дефектоскопические материалы «Sherwin»	3	0,6	2,070
2	Дефектоскопические материалы «Bycotest»	3	0,36	1,242
Итого				3,312

#### 4.4.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot Т_{\text{раб}} , \quad (6)$$

где  $З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$Т_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн., представлена в таблице 4;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} , \quad (7)$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 25 раб.дня М равно 11,2 месяца, 5-дневная неделя,

при отпуске в 48 раб.дней М равно 10,4 месяца, 6-дневная неделя ;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях), из таблицы 10.

Таблица 10 –Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
— выходные дни	104	104
— праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
— отпуск	48	25
— невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	222

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot K_p, \quad (8)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$K_p$  – районный коэффициент, равный 30 % (Томская область).

Полученные значения при расчетах представлены в таблице 11.

Таблица 11– Расчет основной зарплаты

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$K_{пр}$	$K_{д}$	$K_{р}$	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	48750	2547,7	12	40572,4
Студент	10000	0,3	0,2	1,3	15600	815,2	55	46836
Итого								77408,4

#### 4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормативных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (9)$$

Где,  $K_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, дополнительная заработная плата руководителя равна 4585,9 рублей, студента – 5380,3 рублей.

#### 4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (10)$$

Где,  $K_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 12 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	40572,4	4585,9
Инженер-студент	46836	5380,3
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,271	
Итого	25136,5	

#### 4.4.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum статей) \cdot k_{нр}, \quad (11)$$

где,  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы равны: 18268,4 рублей.

#### 4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчетная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Таблица 13 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты	2081,8	Пункт 4.3.5
Затраты на специальное оборудование для научных работ	3312	Пункт 4.3.6
Затраты по основной заработной плате	75408,4	Пункт 4.3.7

исполнителей темы		
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9966,2	Пункт 4.3.8
Отчисления во внебюджетные фонды	23136,5	Пункт 4.3.9
Накладные расходы	18268,4	Пункт 4.3.10
Бюджет затрат на НТИ	132173,3	Сумма ст. 5-10

После выполнения всех необходимых расчетов было выяснено, что в ходе выполнения ВКР было затрачено 132173,3 рублей.



## Список публикаций

1. Разработка и исследование тест–панелей для капиллярного контроля из неметалла // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015

2. Тест–панель для капиллярной дефектоскопии // Качество - стратегия XXI века: сборник научных трудов XIX Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 9-12 Декабря 2014. - Томск: ТПУ, 2015.

3. Тест-панель для капиллярной дефектоскопии // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов III Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых. В 4-х томах, Томск, 6-11 Октября 2014. - Томск: ТПУ, 2014

4. Универсальные тест-панели из неметалла для капиллярной дефектоскопии // Дефектоскопия. - 2015 - №. 10. - С. 49-53 [114202-2016] , объем в печатных листах – 0,23;

5. Kalinichenko N. P. , Kalinichenko A. N. , Lobanova I. S. , Zaytseva A. A. Universal test panels from a nonmetal for capillary nondestructive testing // Russian Journal of Nondestructive Testing . – 2015.

6. N P Kalinichenko, A N Kalinichenko, I S Lobanova, A A Zaitseva, E L Loboda The Method of Manufacturing Nonmetallic Test-Blocks on Different Sensitivity Classes

7. Nikolay Kalinichenko, Aleksey Kalinichenko, Irina Lobanova, Anna Zaitseva, Egor Loboda Determination of the depth of closed blind cracks in non-metal check samples and test panels for penetrant testing.